Eine Methode zur Bestimmung der Richtung und Intensität des stärksten diffusen Lichtes eines bestimmten Lichtareals

von

J. v. Wiesner,
w. M. k. Akad.

(Mit 3 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 7. Juli 1910.)

Vorbemerkung.

Die Bestimmung der Richtung des stärksten diffusen Tageslichtes eines bestimmten Lichtareals oder des ganzen Himmels ist ein in physikalischer, insbesondere optischer Beziehung durchaus nicht gleichgültiger Gegenstand. In pflanzenphysiologischer Beziehung ist aber die Kenntnis dieser Richtung geradezu von Wichtigkeit, da zahlreiche im Wachstum begriffene Pflanzenorgane in ihrer Lage durch die in der genannten Richtung erfolgende Strahlung beherrscht werden.

Ich habe vor langer Zeit gezeigt, daß jene Blätter, welche bei der Annahme der fixen Lichtlage dem Licht gegenüber am schärfsten reagieren, sich während ihres Wachstums senkrecht auf die Richtung des stärksten diffusen Lichtes orientieren und nach Beendigung ihres Wachstums in dieser Lage verharren.[1] Ich habe hierauf, als ich die verschiedenen Formen der fixen Lichtlage der Blätter eingehend studierte, diese sich in der genannten Weise zum Lichte orientierenden Blätter als euphotometrische[2] bezeichnet. In Haberlandt's Lehre von den Lichtsinnesorganen spielt gerade das euphotometrische Blatt die Hauptrolle.

---

[1] J. Wiesner, Die heliotropischen Erscheinungen, II. Teil (1880), p. 40 ff. Denkschriften der kais. Akad. der Wissenschaften, Bd. 43.

[2] Biol. Zentralblatt, 1899, p. 1 ff.

Später führte ich den Nachweis, daß bei einseitiger Einwirkung des diffusen Tageslichtes auf positiv heliotropische Keimstengel dieselben sich genau in jene Vertikalebene (Azimut) einstellen, welche der stärksten diffusen Beleuchtung entspricht.[1]

Die Methode, welche ich vor etwa 30 Jahren in Anwendung brachte, um die Beziehung der fixen Lichtlage, insbesondere des euphotometrischen Blattes zur Richtung des stärksten diffusen Lichtes, kennen zu lernen, war zur Feststellung des Tatbestandes ausreichend, aber weil es sich um einen Induktionsbeweis handelte, höchst umständlich und zeitraubend. Es wurde nämlich im diffusen Tageslichte auf Blättern, welche bereits die fixe Lichtlage angenommen hatten, an der Stelle, an welcher sie zur Entwicklung kamen, kleine Streifen von sogenanntem Talbot'schen (photographischem) Papier befestigt, und zwar in der Richtung des Blattes und in verschiedenen Neigungen. Dabei hat es sich herausgestellt, daß die rascheste Schwärzung des Talbot'schen Papiers ausnahmslos in jenem Falle eintritt, in welchem das photographische Papier die Richtung des Blattes einhielt.[2]

Eine andere Methode befolgte ich, um zu beweisen, daß die im einseitig wirkenden diffusen Tageslichte wachsenden Keimstengel in ihrer Richtung durch das stärkste diffuse Licht beeinflußt werden. An dem Orte, wo später die Keimlinge aufgestellt wurden, kamen Zylinder zu stehen, welche rundum von photographischem Papier umschlossen waren. Die Zylinder standen genau aufrecht und das photographische Papier war so angebracht, daß es (im geometrischen Sinne) einem Zylindermantel entsprach. Die so adjustierten Zylinder wurden der Einwirkung des diffusen Tageslichtes so lange ausgesetzt, bis eine lebhafte Färbung des photographischen Papiers eingetreten war. Durch jene Zylinderkante (vertikale Linie des Zylindermantels), welche die stärkste Färbung aufwies, und die Achse des Zylinders geht jene Vertikalebene, welche der stärksten

---

[1] J. Wiesner, Über Heliotropismus, hervorgerufen durch diffuses Tageslicht. Berichte der Deutschen Botan. Gesellschaft, Bd. XVI (1898), p. 158 ff.

[2] Heliotropische Erscheinungen, II, p. 41.

diffusen Beleuchtung im Sinne der Vertikalen entspricht. Diese Vertikalebene entspricht dem Azimut[1] der stärksten Beleuchtung. In dieser Vertikalebene wenden sich die Keimstengel dem Lichte zu.

Es ist klar, daß hiermit nicht die Richtung des stärksten Lichtes gegeben ist, sondern, wie ja schon auseinandergesetzt wurde, nur die Vertikalrichtung stärkster Beleuchtung, innerhalb welcher der heliotropische Keimstengel stets zu liegen kommen muß. In dieser Vertikalebene (Azimut) sind aber unendlich viele Lagen des Keimstengels möglich. Um die Richtung des stärksten diffusen Lichtes zu finden, wäre aber auch die Bestimmung der Höhe erforderlich.

Diese Ermittlung der Höhe wurde von mir damals nicht vorgenommen. Ich begnügte mich mit der Bestimmung des Azimuts, weil ja jeder heliotropische Pflanzenteil auch geotropisch ist, wodurch der heliotropisch sich orientierende Stengel eine Lageveränderung in vertikaler Richtung erfährt oder erfahren kann.

Meine eben kurz geschilderten photographisch zur Auffindung des stärksten diffusen Tageslichtes bestimmten Methoden sind sehr plump und umständlich. Es sind indes dieselben die einzigen, welche, so viel mir bekannt, bis jetzt zu dem genannten Zwecke in Anwendung gebracht wurden. Von der Unvollkommenheit meiner Methoden überzeugt, war ich bemüht, eine exaktere und wenn möglich expeditivere Methode für die Erreichung des genannten Zweckes ausfindig zu machen.

Zum Erfinden einer solchen Methode fand ich mich um so mehr gedrängt, als ich in der physikalischen Literatur eine solche nirgends beschrieben fand.

Mit Rücksicht auf die eigentümlichen Strahlungsverhältnisse des diffusen Lichtes, welches jeden Punkt von unendlich vielen Richtungen her beleuchtet, und bei dem Umstande, daß die ausschließlich von diffusem Lichte erhellte Fläche des Himmels nicht gleichmäßig beleuchtet wird, ist es von vorneherein sehr unwahrscheinlich, die Richtung des stärksten

---

[1] Azimut wird hier im weiteren Sinne, als Höhenkreis genommen, ohne Rücksicht auf die Entfernung von der Sonne.

Lichtes auf mathematischem oder auf konstruktivem Wege zu finden, und es erscheint insbesondere mit Rücksicht auf die höchst verschiedenartigen Verhältnisse der Beleuchtung der Pflanzen — man denke an die Beleuchtung der Blätter innerhalb der Baumkrone oder an eine im Schatten eines Baumes stehende krautige Pflanze — nötig, diese Richtung empirisch festzustellen. Dabei ist aber von vornherein klar, daß diese Richtung desto mehr durch senkrecht auf eine bestimmte Fläche fallendes Licht gegeben sein wird, je kleiner das zu prüfende Lichtareale ist.

Ich glaube, daß es mir gelungen ist, die angestrebte Methode gefunden zu haben. So einfach nun diese gleich zu beschreibende Methode jetzt erscheinen mag, so war es mir doch erst nach langer Zeit und nach mühevollen Voruntersuchungen geglückt, dieselbe ausfindig zu machen.

Nach dieser Methode erfolgt die Ermittlung der Richtung des stärksten diffusen Tageslichtes ganz unabhängig von den Richtungs- und Lageverhältnissen der Pflanzenorgane in jener rein objektiven, physikalischen Weise, wie ich es schon bei der Ermittlung des Azimuts stärkster diffuser Beleuchtung angestrebt habe.

Eine solche objektive, physikalische Methode ist aber in pflanzenphysiologischer Beziehung nach zwei Richtungen hin höchst wertvoll.

Wenn ich an der Hand einer solchen Methode imstande bin, die Richtung des stärksten diffusen Lichtes zu finden, so ist es weitaus leichter als nach dem bisherigen Verfahren ausfindig zu machen, ob ein Blatt euphotometrisch ist oder nicht. Die bisherige Feststellung beruht ja, wie schon bemerkt, auf einem sehr schleppenden Induktionsverfahren und es tritt nur insoferne eine Erleichterung der Bestimmung ein, als bei entschieden vorherrschender Wirkung des Zenitlichtes, das euphotometrische Blatt genau die horizontale Lage einnimmt. Wenn ich aber, ganz unabhängig von der fixen Lichtlage des Blattes, durch eine rein physikalische Methode die Richtung des stärksten diffusen Lichtes ausfindig zu machen imstande bin, so brauche ich nur nachzusehen, ob das dem untersuchten Lichte ausgesetzte Blatt sich senkrecht auf diese nebenher

ermittelte Richtung stellt oder nicht. Im ersteren Falle ist das Blatt euphotometrisch, im letzteren nicht.

Aber auch mit Rücksicht auf die Lage eines Keimstengels zur Richtung des stärksten Lichtes ist es wünschenswert, durch eine objektive Ermittlung festzustellen, ob sich das Organ nur in das Azimut der stärksten Beleuchtung einstellt oder auch innerhalb dieser Vertikalebene jene Richtung (Höhe) einhält, welche der stärksten Beleuchtung entspricht. Wenn auch diese Höhe erreicht wird, so hat der betreffende Pflanzenteil das Maximum des heliotropisch möglichen Effektes erreicht, er steht dann direkt in der Richtung des stärksten diffusen Lichtes und es ist dann eine weitere heliotropische Krümmung ausgeschlossen: er wächst, wenn die Beleuchtungsverhältnisse sich nicht ändern und natürlich keine anderen Störungen eintreten, in der Richtung des stärksten diffusen Lichtes weiter.

Das Prinzip der Methode.

Läßt man auf einen genau horizontalen, quer über einer weißen, matten Unterlage befestigten dünnen Stab die Sonnenstrahlen fallen, so gibt der Winkel, den der Schatten des Stabes mit dem Horizont einschließt, die Sonnenhöhe an, also die Höhe, in welcher die Sonne über dem Horizont steht. Dreht man das Schattenbild in der Horizontalebene so lange, bis es genau vertikal unter den schattenerzeugenden Stab zu liegen kommt, so gibt die Vertikalebene, welche durch Stab und Schatten geht, das Azimut der Sonne an. Durch Höhe und Azimut ist aber der Stand der Sonne genau bestimmt.

Von diesen Tatsachen gehe ich aus, wenn ich die Richtung des stärksten diffusen Lichtes, z. B. eines abgegrenzten, diffus beleuchteten Himmelsstückes bestimmen will. Jeder Punkt, der von diesem Himmelsstück beleuchtet ist, empfängt Lichtstrahlen von unendlich vielen Seiten, von Strahlen, welche die verschiedenste Intensität besitzen. Wenn dieses Himmelsstück einen Schatten bildet, z. B. von dem oben genannten Stab, so wird dieser Schatten von jenen Strahlen gebildet, welche die größte Intensität besitzen. Dieser Schatten schließt, wie im obigen Falle, mit dem Horizont einen Winkel ein, welcher die Höhe bezeichnet, von welcher diese Strahlen

stärkster Intensität kommen. Drehe ich nun diesen Schatten in horizontaler Richtung so lange, bis er genau vertikal unter den Stab zu liegen kommt, so habe ich das Azimut der stärksten diffusen Beleuchtung gefunden. Wo sich Azimut und Höhe schneiden, ist der Ort der stärksten diffusen Beleuchtung zu finden. Die Verbindungslinie dieses Schnittpunktes mit dem Ort der Beobachtung gibt die Richtung des stärksten diffusen Himmelslichtes an.

Es läßt sich aber auch die Intensität des stärksten diffusen Lichtes ermitteln, am einfachsten auf photochemischem Wege. Der photochemische Nachweis führt hier gewiß zu einem befriedigenden Resultate, nämlich nicht nur mit Rücksicht auf die chemisch wirksamen Strahlen, sondern auch mit Rücksicht auf die zu vergleichenden Lichtstärken, da es sich ja bei dem Vergleich um ein und dasselbe Licht handelt.

Die Auffindung der Intensität des stärksten diffusen Lichtes erhellt aus folgenden Erwägungen.

Die beleuchtete Fläche sei von dem herrschenden Gesamtlichte (J_g) bestrahlt. Nehme ich an, daß der Schatten des Stabes durch Sonnenlicht hervorgerufen wird, so ist die Lichtintensität dieses Schattens genau bestimmt durch die Intensität des neben dem direkten Sonnenlichte wirksamen diffusen Lichtes: Der Schatten des Stabes (J_d) hat geradezu die Intensität des diffusen Lichtes. Nun ist vollkommen klar, daß die Intensität der direkten Sonnenstrahlen (J_s) sich aus den beiden genannten Größen ableiten läßt. Es ist

$$J_s = J_g - J_d.$$

In analoger Weise läßt sich die Intensität des stärksten diffusen Lichtes bestimmen. Bezeichnet J_g die Intensität des diffusen Gesamtlichtes, J_D die Intensität des stärksten diffusen Lichtes, welche ich suche und J_δ die Intensität des Schattenlichtes des Stabes, so ist

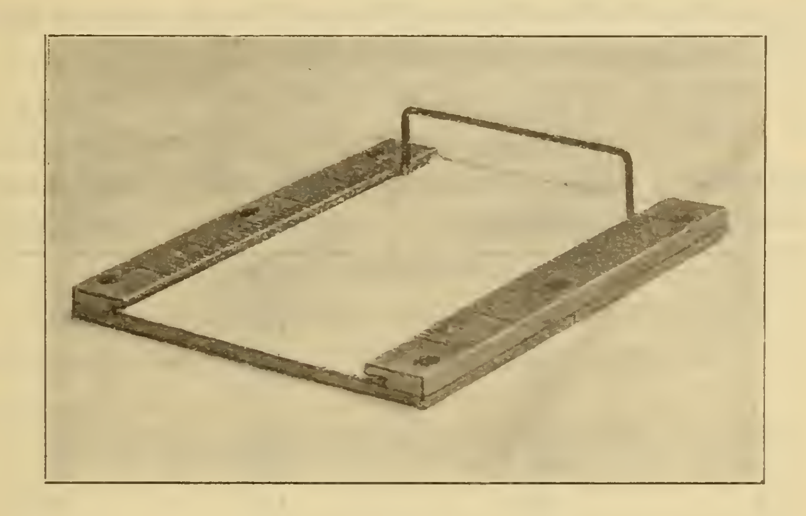
$$J_D = J_g - J_\delta.$$

Das Skioklisimeter.

Nach dem hier entwickelten Prinzipe habe ich einen einfachen Apparat konstruiert, welcher zunächst gestattet, aus der

Lage des Schattens die Richtung des stärksten diffusen Lichtes eines bestimmten Lichtareals zu bestimmen. Ich nenne diesen Apparat »Skioklisimeter«.[1]

Derselbe besteht aus einer 6·5 *cm* langen, 6 *cm* breiten Metalltafel, welche oben mit einem rein- und mattweißen dünnen Karton bedeckt ist, der am Rande der Tafel der Länge nach, rechts und links, von je einem 1 *cm* breiten Metallstreifen festgehalten wird. An diesen beiden Metallstreifen befindet sich eine Millimeterteilung. Über dem Nullpunkte dieser Teilung befindet sich in einer bestimmten Höhe ein mattgeschwärzter



Textfigur 1.
Perspektivisches Bild des Skioklisimeters (photographische Reproduktion).

Draht, der genau parallel zur Tafelfläche zu liegen kommt. Durch rechtwinkelige Abbiegung der beiden Drahtenden und Einfügung derselben in die Metallplatte wird für die Fixierung des schattenwerfenden Drahtteiles gesorgt. Der letztere ist an meinem Apparat so angebracht, daß seine Achse genau 1 *cm* über der Fläche des Kartons zu liegen kommt und die abgebogenen Drahtteile sind so gestellt, daß ihre Achsen in die beiden Nullpunkte der Teilung einschneiden.

Bei der Ablesung der Höhe hat man die Mitte des Schattens — entsprechend der Achse des schattenwerfenden Drahtes — zu wählen.

---

[1] Abgeleitet aus den Worten σκιά (Schatten), κλίσις (Neigung) und μετρον.

Jedem Millimeterteilstrich entspricht ein bestimmter Höhenwinkel, der sich leicht aus der Höhe des Drahtes über der Projektionsfläche und aus der Entfernung des Schattens vom Anfangspunkt der Teilung durch die bekannte Tangentenformel logarithmisch berechnen läßt. In der nachstehenden Tabelle sind einige der betreffenden Werte angegeben. Es braucht nicht weiter ausgeführt zu werden, daß man auch noch die Werte für halbe Millimeter wird zur Bestimmung heranziehen können, daß aber eine weitere Verfeinerung der Messung nicht empfehlenswert ist, da es sich doch nur um eine approximative Bestimmung handeln kann, welche aber für die oben genannten Zwecke ausreicht.

Millimeter-teilstrich	Höhe in Graden, approximativ ausgedrückt	Millimeter-teilstrich	Höhe in Graden, approximativ ausgedrückt
0	90	14	35
1	84	15	33
2	78	16	32
3	73	17	30
4	68	18	29
5	63	19	27
6	59	20	26
7	55		
8	51	25	21
9	48	30	18
10	45	35	16
11	42	40	14
12	40	45	12
13	37	50	11

Beim Gebrauch des Skioklisimeters wird der schattenwerfende Draht quer zur Lichtfläche gestellt und die Entfernung der Mittellinie des Schattens vom Nullpunkt der Millimeterteilung festgestellt. Fällt beispielsweise die Schattenmitte zwischen die Teilstriche 14 und 15, so wird die Höhe, in welcher die intensivsten Strahlen sich befinden, approximativ 34° betragen.

Die Schattenbreite ist wohl stets mehr oder minder größer als der Durchmesser des Drahtes, woraus ersichtlich ist, daß nicht nur die senkrecht auffallenden Strahlen des diffusen Lichtes bei der Schattenbildung beteiligt sind, sondern auch die benachbarten, schon etwas geneigten Strahlen. Je breiter der Schatten im Vergleiche zum Durchmesser des Drahtes ist, desto mehr wirken von der senkrechten Richtung abweichende Strahlen beim Zustandekommen des Schattens mit. Man kann sich leicht auch eine Vorstellung bilden, wie weit bei einseitiger Beleuchtung durch diffuses Himmelslicht der Schatten an der von der Lichtquelle abgewendeten Seite reichen kann, indem man durch Zeichnung sich vergegenwärtigt, welche Strahlen durch den schattengebenden Draht abgehalten werden, auf die weiße Projektionsfläche des Skioklisimeters zu fallen. Theoretisch ist diese Schattenfläche unendlich groß. Praktisch sieht man entweder von diesem leisen Schatten gar nichts oder nur ein Stück; bei bestimmter Beleuchtung kann die ganze von der Lichtquelle abgewendete Seite der Projektionsfläche im Vergleiche zu der der Lichtquelle zugewendeten Seite dunkler erscheinen.

Je kleiner das Himmelsstück ist, welches bezüglich der Richtung des stärksten diffusen Lichtes geprüft werden soll, desto schärfer wird der Schatten des Drahtes erscheinen, was ja sehr begreiflich ist, weil mit der Verkleinerung des Himmelsstückes die Menge der nicht radial einfallenden Strahlen im Vergleiche zu den radial einfallenden verkleinert wird. Diese letzteren sind es ja eben, welche bei der Schattenbildung am meisten beteiligt sind.

Man wird also mittelst des Skioklisimeters die Richtung des stärksten diffusen Lichtes desto sicherer bestimmen können, je kleiner das zu prüfende Lichtareal ist. Hat man den ganzen diffus beleuchteten Himmel vor sich, so erhält man von einem undurchsichtigen Körper, z. B. von einer vertikal oder horizontal über einer Projektionsfläche fixierten Nadel, oder von dem Drahte des Skioklisimeters gar keinen sichtlichen Schatten. Faktisch werden aber auf der horizontalen Projektionsfläche unendlich viele Schatten erzeugt, die aber alle durch die benachbarten Lichtstrahlen ausgelöscht werden. Daß in der Tat

unendlich viele Schatten gebildet werden, läßt sich durch Abblendung des Seitenlichtes in jedem Azimut nachweisen. In dem Falle also, als der ganze diffus beleuchtete Himmel rücksichtlich der Richtung des stärksten diffusen Lichtes geprüft werden soll, scheint das Skioklisimeter den Dienst zu versagen. Allein, da sich durch die Abblendung zeigen läßt, daß der Drahtschatten mit dem Drahte in eine Vertikalebene fällt, so ergibt sich, daß bei diffus beleuchtetem Himmel, wenn nämlich direktes Sonnenlicht nicht im Spiele ist, der Zenit am stärksten beleuchtet ist, was übrigens bereits durch direkte messende Beobachtungen festgestellt wurde.[1]

Für die pflanzenphysiologische Untersuchung ist es aber von Wichtigkeit, gerade die Richtung des stärksten Lichtes kleiner Lichtareale ausfindig zu machen, namentlich bei Entscheidung der Frage, ob das Blatt einer bestimmten Pflanze euphotometrisch ist oder nicht. Gerade bei schwacher Beleuchtung, wenn die Strahlen nur durch kleine Lücken durchgehen, z. B. in der Laubkrone der Bäume, kommt der euphotometrische Charakter des Blattes am schärfsten zur Geltung.

Benützung des Skioklisimeters zur Ermittlung des euphotometrischen Charakters von Blättern.

Es ist oben schon angedeutet worden, wie umständlich die Feststellung des euphotometrischen Charakters der Blätter sich bisher gestaltet hat.

Hingegen kann man diese Feststellung ebenso sicher, ferner weitaus rascher und exakter mit Zuhilfenahme des Skioklisimeters durchführen. Man bestimmt an dem Orte, wo das auf seinen eventuellen euphotometrischen Charakter zu prüfende Blatt sich befindet, z. B. im Innern der Baumkrone, mittels des Skioklisimeters in der angegebenen Art die Richtung des stärksten diffusen Lichtes und dreht dasselbe an seiner Vorderkante solange nach aufwärts, bis der Schatten des Drahtes mit dem Drahte selbst in dieselbe Ebene zu liegen kommt. Nunmehr hat man der Tafel des Skioklisimeters eine Neigung gegeben, welche senkrecht auf

[1] Wiesner, Der Lichtgenuß der Pflanze. Leipzig, Engelmann, 1907, 44.

die Richtung des stärksten diffusen Lichtes zu liegen kommt; dies aber ist die Neigung, welche das Blatt, wenn es den euphotometrischen Charakter an sich trägt, an dem betreffenden Orte (also unter den gerade da gegebenen Beleuchtungsverhältnissen) einnehmen muß.

Bei der Prüfung der Höhe der Zone stärkster Himmelsbeleuchtung liegt die Tafel des Skioklisimeters horizontal. Wenn der Schatten des Drahtes genau (vertikal) unter den Draht zu liegen kommt, so hat man bei Prüfung des euphotometrischen Charakters des Blattes selbstverständlich keine Drehung der Tafel vorzunehmen, denn es liegt die Tafel bereits in jener Richtung, welche das Blatt, falls es euphotometrisch ist, einnimmt, nämlich horizontal.

Wenn das stärkste Licht die horizontale Lage einhalten sollte, so erhält man auf der horizontal liegenden Tafel des Instrumentes natürlich keinen Schatten, denn dieser fällt in unendliche Entfernung, erreicht also nicht die Projektionsfläche der Tafel. Aber in diesem Fall kann man sich leicht helfen, indem man die Tafel vertikal stellt; fällt der Schatten des Drahtes mit diesem in eine Horizontalebene, so folgt hieraus nicht nur, daß das stärkste diffuse Licht horizontal einfällt, sondern daß die vertikale Richtung der fixen Lichtlage des Blattes unter den gegebenen Beleuchtungsverhältnissen entspricht, natürlich vorausgesetzt, daß das Blatt ein euphotometrisches ist.

Bei stark schräger Richtung der stärksten diffusen Strahlung wird wegen Schwäche und Breite des Schattens die Bestimmung der »Höhe« unsicher. Sicherer kann man in einem solchen Fall die »Höhe« bestimmen, wenn man das Skioklisimeter an seiner Vorderkante solange hebt, bis der Schatten mit den drei Drahtteilen in eine Ebene zu liegen kommt. Die »Höhe« entspricht dann dem Werte $90° - x$, wobei x den Neigungswinkel der Platte des Skioklisimeters ausdrückt. Mit Zuhilfenahme des unten beschriebenen Inklinationsskioklisimeters, welches erlaubt, die Neigung der Metallplatte des Instrumentes zum Horizont zu bestimmen, wird man diese Modifikation der Bestimmung der »Höhe« leicht und sicher durchzuführen imstande sein.

Prüfung der Lage heliotropischer, im diffusen Lichte befindlicher Keimstengel mittels des Skioklisimeters.

Wie oben bereits bemerkt, habe ich schon vor längerer Zeit gezeigt, daß jeder positiv heliotropische Keimstengel sich, um mich der hier gebrauchten Ausdrucksweise zu bedienen, in das Azimut der stärksten Beleuchtung stellt. Innerhalb der hierdurch gegebenen Richtung kann er aber, wie schon früher bemerkt, insbesondere infolge geotropischer Wirkung, zahllose Neigungen annehmen. Mittels des Skioklisimeters ist es ein Leichtes zu bestimmen, ob er genau die Richtung des stärksten diffusen Lichtes erreicht hat, d. h., ob er auch rücksichtlich der »Höhe« der Richtung der stärksten diffusen Beleuchtung folgt. Hat er diese Höhe erreicht, steht er also genau in der Richtung der stärksten diffusen Beleuchtung (nämlich sowohl in Rücksicht auf Azimut, als auf Höhe), so hat er den Geotropismus überwunden und kann bei gleich bleibender Beleuchtung keiner neuen heliotropischen Krümmung unterliegen.

Über diese in theoretischer Beziehung wichtigen Verhältnisse habe ich eingehende Studien angestellt, welche ich erst später besonders veröffentlichen werde, da diese Sache nicht mehr in den Rahmen dieser Abhandlung gehört. In bezug auf die heliotropische Lage der im diffusen Lichte wachsenden Keimstengel wollte ich nur zeigen, daß man mit Zuhilfenahme des Skioklisimeters imstande ist zu bestimmen, ob die Organe die Fähigkeit haben, das Ziel ihrer heliotropischen Bewegung zu erreichen, sich nämlich in die Richtung des stärksten diffusen Lichtes sowohl in Rücksicht auf Höhe als Azimut zu stellen.

Die in dieser kleinen Schrift vorgeführten Tatsachen und Betrachtungen legen die Frage nahe, wie groß der Anteil des stärksten diffusen Lichtes, verglichen mit der gesamten diffusen Strahlung ist. Denn es ist klar, daß bei der Beleuchtung eines euphotometrischen Blattes nur das stärkste, nämlich das senkrecht auffallende Licht, zur Geltung kommt. Nur auf dieses stärkste, senkrecht auf das Blatt auffallende Licht ist die euphotometrische Stellung zurückzuführen. Die seitlichen Strahlen sind ohne faktische Wirkung. Ob sie in dem Blatte

absolut ohne Wirkung bleiben oder ob sich die symmetrisch gelegenen, schief auf das Blatt auffallenden Strahlen in ihrer Wirkung — nämlich in bezug auf die Lage des Blattes — gegenseitig aufheben, ist eine bisher noch unentschieden gebliebene Frage.

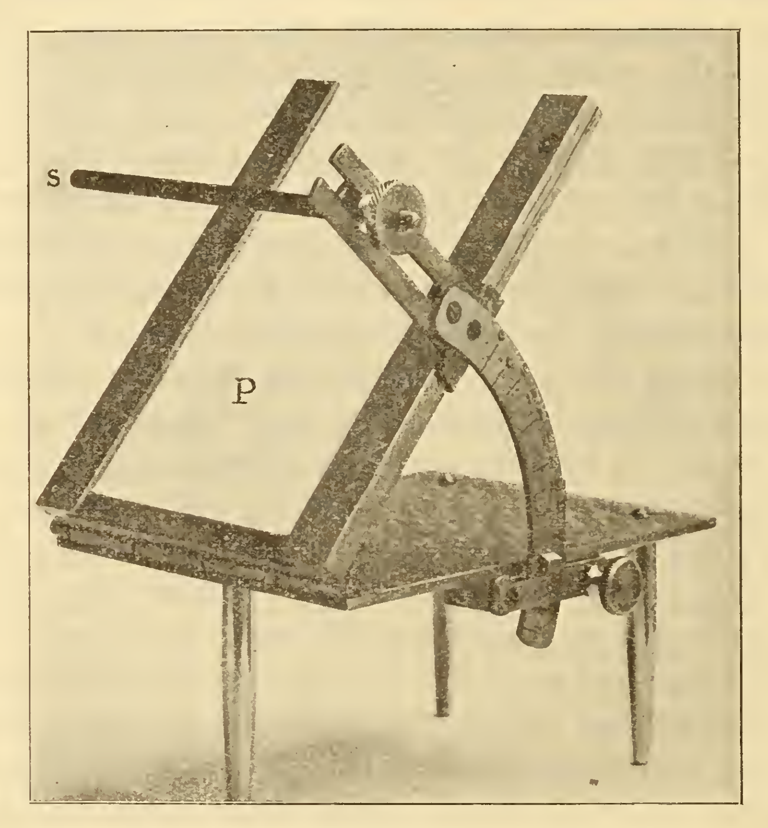
Die bekannte Haberlandt'sche Hypothese der Linsenfunktion der Oberhautzellen und auch deren spätere Modifikation müssen mit den Strahlen relativ stärkster Intensität, also mit den senkrecht auffallenden, rechnen. Da aber die Beleuchtung des euphotometrischen Blattes im diffusen Licht erfolgt, dessen Strahlen von unendlich vielen Seiten kommen, so muß die Frage entstehen: wie groß ist der Anteil der wirksamen Strahlen, verglichen mit der faktischen diffusen Gesamtstrahlung? Daß man diese Frage durch photochemische Messung zu lösen imstande ist, wurde schon oben dargelegt.

In bezug auf das Verhältnis der stärksten diffusen zur gesamten diffusen Strahlung sind zwei Grenzfälle zu unterscheiden, welche bei den natürlichen Beleuchtungsverhältnissen der Pflanze niemals vollständig erreicht werden und in voller Reinheit selbst im Experiment kaum zu realisieren sind. Der eine Grenzwert tritt ein, wenn am Skioklisimeter gar kein Schatten zustande kommt, der andere, wenn vom gesamten diffusen Lichte nur mehr die untereinander parallelen und senkrecht auffallenden Strahlen zur Wirkung gelangen. Eine Annäherung an den ersten Grenzfall stellt sich bei Beleuchtung des Blattes durch die ganze diffuse Beleuchtung des Himmels ein. Eine Annäherung an den zweiten Grenzfall hat man vor sich, wenn ein sehr kleines Himmelsstück ausschließlich wirksam wird.

Aus dieser Betrachtung ist ersichtlich, daß, wenn eine völlig frei exponierte Pflanze im Lichte und durch das Licht ihre Blätter horizontal stellt, ein Fall der Euphotometrie sich einstellt, der von jenem Falle verschieden ist, in welchem fast nur die senkrecht auf das Blatt fallenden vorhanden sind. Im ersteren Falle wirkt ein sehr großer Teil des Lichtes beim Zustandekommen der fixen Lichtlage gar nicht mit, ist, wie schon bemerkt, entweder bei der Einstellung des Blattes zum Lichte gar nicht beteiligt, oder es kompensieren sich die

symmetrisch auffallenden Strahlen in ihrer Wirkung auf die Lage des Blattes, im zweiten Falle herrschen fast nur jene Strahlen, welche die Lichtlage des Blattes bewirken.

Das Verhältnis des stärksten diffusen Lichtes zum gesamten diffusen Lichte wird abhängig sein von der Lage der Ebene, auf welcher der Schatten aufgefangen wird, von der Dicke des Drahtes, welcher am Skioklisimeter den Schatten

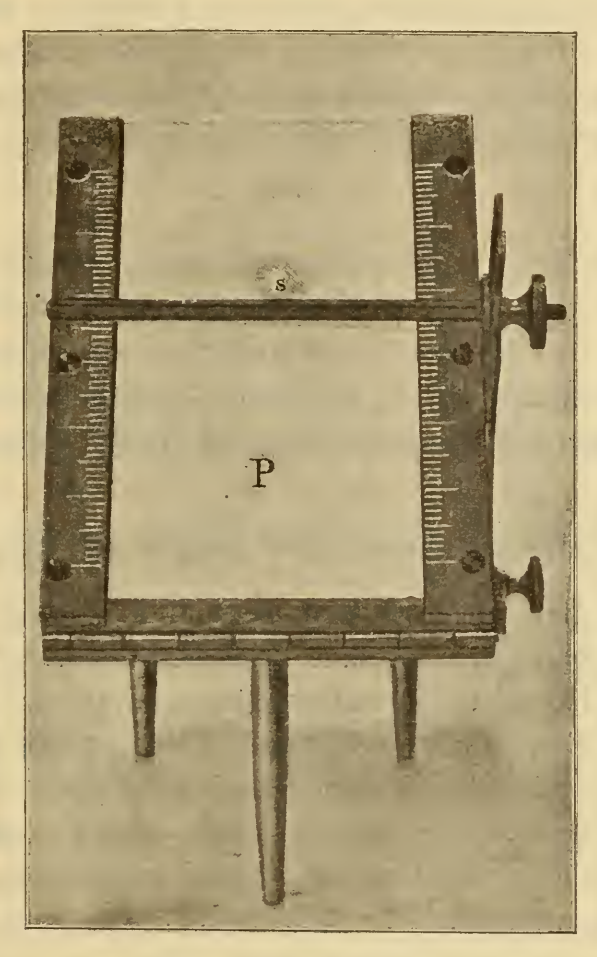


Textfigur 2.
Perspektivisches Bild des Inklinationsskioklisimeters (photographische Reproduktion).

erzeugt und von der Entfernung des Drahtes von der Fläche, auf welcher Schatten entworfen wird.

Je mehr die schattenauffangende Fläche (Projektionsfläche) sich der zum Einfall der stärksten Strahlen des diffusen Lichtes senkrechten Lage nähert, je mehr der Draht der Projektionsfläche sich nähert und je größer der Durchmesser des Drahtes ist, desto lichtschwächer (dunkler) wird der Schatten sein, desto größer erscheint die Intensität der stärksten Strahlen, verglichen mit dem gesamten diffusen Lichte.

Ich habe zahlreiche einschlägige Messungen vorgenommen, welche ich hier nicht mitteile, da auch diese Beobachtungen außerhalb des Rahmens dieser Abhandlung fallen. Es sollte durch die zuletzt angeführten Bemerkungen nur gezeigt werden, daß das Skioklisimeter zur relativen Bestimmung der Intensität



Textfigur 3.

Vorderansicht des Inklinationsskioklisimeters (photographische Reproduktion). Der Stab *s* steht quer über der Projektionsfläche *P*. Diese schließt mit der Vertikalen einen Winkel von etwa 30° ein.

der stärksten Strahlen des diffusen Lichtes herangezogen werden kann.

Für die Zwecke der Intensitätsbestimmung ist es erforderlich, dem Skioklisimeter eine besondere Form zu geben, nämlich die Neigung der Projektionsfläche veränderlich zu machen und durch einen passend angebrachten Gradbogen den Winkel zu

bestimmen, den die Projektionsfläche mit dem Horizont einschließt. An dieser Modifikation des Apparates, welchem ich den Namen Inklinationsskioklisimeter[1] gebe, hat der schattengebende Draht einen Durchmesser von 3 *mm* und kann durch eine Klemmvorrichtung gehoben und gesenkt werden. Wie schon oben angedeutet, wird das Verhältnis des stärksten diffusen Lichtes zum diffusen Gesamtlichte photochemisch bestimmt. Zu diesem Behufe muß der schattenwerfende Draht dicker sein als bei dem gewöhnlichen Skioklisimeter.

Die dem Text beigegebenen photographischen Aufnahmen des Skioklisimeters und des Inklinationsskioklisimeters wurden von Herrn Dr. A. Jenčić, Assistenten am pflanzenphysiologischen Institute der k. k. Wiener Universität, besorgt. Ich danke dem genannten Herrn für seine Mühewaltung.

Zusammenfassung der Hauptergebnisse.

So wie man aus der Lage des Schattens, den ein horizontal liegender, über einer ebenso orientierten weißen Fläche in bestimmter Höhe angebrachter dünner Stab im Sonnenlicht entwirft, die Sonnenhöhe bestimmen kann, so läßt sich aus der Schattenlage, die ein solcher Stab bei diffuser Beleuchtung aufweist, die Richtung der stärksten diffusen Beleuchtung, zunächst mit Rücksicht auf die »Höhe« bestimmen.

Und so wie man das Azimut der Sonnenposition findet, indem man den schattenwerfenden Stab so lange in einer Horizontalebene dreht, bis der Stab mit seinem Schatten in eine Vertikalebene fällt, so läßt sich das Azimut der stärksten diffusen Beleuchtung finden, wenn man in analoger Weise Stab und Schatten in eine Vertikalebene bringt.

Durch »Höhe« und »Azimut« ist aber die Richtung des stärksten diffusen Lichtes genau bestimmt.

---

[1] Herr Universitätsmechaniker Castagna hat die beiden oben genannten Arten des Skioklisimeters nach meinen Angaben ausgeführt und ist bereit, dieselben auf Bestellung zu liefern.

Auf diesem Prinzipe beruht ein Apparat (Skioklisimeter), welcher gestattet, die Richtung des stärksten diffusen Lichtes sowohl mit Rücksicht auf »Höhe« als »Azimut« zu finden.

Dieser Apparat erlaubt bei etwas modifizierter Ausführung auch eine Bestimmung der Intensität des stärksten diffusen Lichtes nach der von mir modifizierten Bunsen-Roscoe'schen photochemischen Methode.

Ist J_g die Intensität des gesamten diffusen Lichtes des zu prüfenden Lichtareals, J_δ die Lichtintensität des auf die Projektionsfläche fallenden Schattens des Stabes, so ist die Intensität des stärksten diffusen Lichtes (J_D) aus folgender Gleichung zu bestimmen:

$$J_D = J_g - J_\delta.$$

Mit Zuhilfenahme des Skioklisimeters läßt sich in einer sehr einfachen Weise feststellen, ob ein Blatt den euphotometrischen Charakter hat. Man sucht den Schatten im diffusen Lichte auf, welcher die »Höhe« der stärksten diffusen Beleuchtung angibt und dreht an der Vorderkante des Apparates dessen Projektionsfläche, d. i. jene Fläche, welche den Schatten aufzunehmen bestimmt ist, so lange empor, bis der dreiteilige schattenwerfende Stab des Apparates mit dem Schatten in eine Ebene fällt. Die Neigung dieser Fläche steht senkrecht auf der Richtung des stärksten diffusen Lichtes. Wenn das zu prüfende Blatt euphotometrisch ist, so muß seine Lage mit jener der gesuchten Fläche übereinstimmen.

Mittels des Skioklisimeters läßt sich auch feststellen, ob ein heliotropisches Organ das Ziel seiner Richtungsbewegung erreicht, nämlich sich in die Richtung des stärksten diffusen Lichtes gestellt hat, wobei die geotropische Gegenwirkung aufgehoben erscheint.